

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

EXPRESS MAIL NO. EV351235215US

Applicant : Tetsuya Miyazaki
Application No. : N/A
Filed : December 2, 2003
Title : OPTICAL RECEIVER AND METHOD FOR CONTROLLING
DISPERSION COMPENSATION

Grp./Div. : N/A
Examiner : N/A

Docket No. : 51214/DBP/T360

LETTER FORWARDING CERTIFIED
PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450


PostOffice Box 7068
Pasadena, CA 91109-7068
December 2, 2003

Commissioner:

Enclosed is a certified copy of Japanese Patent Application No. 2003-070418, which was filed on March 14, 2003, the priority of which is claimed in the above-identified application.

Respectfully submitted,

CHRISTIE, PARKER & HALE, LLP

By 
D. Bruce Prout
Reg. No. 20,958
626/795-9900

DBP/aam
Enclosure: Certified copy of patent application

AAM PAS538995.1-*-12/2/03 11:35 AM

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日
Date of Application:

2003年 3月14日

出 願 番 号
Application Number:

特願2003-070418

[ST.10/C]:

[JP2003-070418]

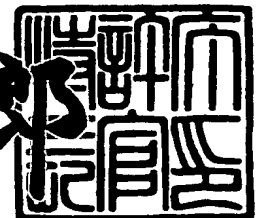
出 願 人
Applicant(s):

独立行政法人通信総合研究所

2003年 3月28日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3022139

【書類名】 特許願

【整理番号】 CRL03009

【提出日】 平成15年 3月14日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H04B 10/02

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都小金井市貫井北町4 - 2 - 1 独立行政法人通信総合研究所内

 【氏名】 宮崎 哲弥

【特許出願人】

 【識別番号】 301022471

 【住所又は居所】 東京都小金井市貫井北町4 - 2 - 1

 【氏名又は名称】 独立行政法人通信総合研究所

 【代表者】 飯田 尚志

【代理人】

 【識別番号】 100090284

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 田中 常雄

 【電話番号】 03-5396-7325

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光受信装置及び分散補償制御方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光伝送路（20）から入力する信号光の波長分散を補償する、分散補償量を変更自在な分散補償装置（32）と、

当該分散補償装置（32）の出力信号光の自己相関を演算する光自己相関装置（44）と、

当該光自己相関装置（44）の自己相関が大きくなるように当該分散補償装置（32）を制御する制御装置（46）

とを具備することを特徴とする光受信装置。

【請求項 2】 更に、当該分散補償装置（32）の出力信号光から当該光伝送路の伝送誤り率を示す情報を算出する伝送誤り率情報算出装置（42）を具備し、

当該制御手段（32）が、当該伝送誤り率情報が小さくなるように、当該分散補償装置（32）を制御する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の光受信装置。

【請求項 3】 当該制御装置（46）が、当該光自己相関装置（44）の自己相関が大きくなるように当該分散補償装置（32）を制御し、その後、当該伝送誤り率情報算出装置（42）の出力に従い当該伝送誤り率が小さくなるように当該分散補償装置（32）を制御する請求項 2 に記載の光受信装置。

【請求項 4】 当該分散補償装置が、分散補償量及び分散スロープを変更自在な分散／分散スロープ補償装置（32）であり、

当該制御装置（46）が、当該光自己相関装置（44）の自己相関が大きくなるように当該分散／分散スロープ補償装置（32）の分散補償量を制御し、当該伝送誤り率が小さくなるように当該分散／分散スロープ補償装置（32）の当該分散スロープを制御する請求項 2 に記載の光受信装置。

【請求項 5】 光伝送路（20）から入力する信号光を 2 分割する光分波器（80）と、

当該光分波器（80）から出力される各信号光の波長分散を補償する、分散補償量を変更自在な第 1 及び 2 の分散補償装置（32，82）と、

当該第 1 の分散補償装置 (3 2) が出力する信号光から、当該信号光の搬送するデータを復調するデータ復調装置 (3 6 , 3 8 - 1 ~ 4) と、

当該第 2 の分散補償装置 (8 2) から出力される信号光の自己相関を演算する光自己相関装置 (8 4) と、

当該光自己相関装置 (8 4) の自己相関が大きくなるように当該第 2 の分散補償装置 (8 2) の制御を試行し、その試行結果に従い当該第 1 の分散補償装置 (3 2) を制御する制御装置 (8 6)

とを具備することを特徴とする光受信装置。

【請求項 6】 当該データ復調装置 (3 6 , 3 8 - 1) が、当該光伝送路の伝送誤り率を示す情報を算出する伝送誤り率情報算出装置 (4 2) を具備し、

当該制御装置 (8 6) が、当該伝送誤り率情報算出装置 (4 2) の出力に従い、当該伝送誤り率が小さくなるように、当該第 1 の分散補償装置 (3 2) を制御する請求項 5 に記載の光受信装置。

【請求項 7】 当該第 1 の分散補償装置が、分散補償量及び分散スロープを変更自在な分散／分散スロープ補償装置 (3 2) であり、

当該制御装置 (8 6) が、当該伝送誤り率が小さくなるように当該分散／分散スロープ補償装置 (3 2) の当該分散スロープを制御する請求項 6 に記載の光受信装置。

【請求項 8】 光伝送路 (2 0) から入力する信号光を 2 分割する第 1 の光分波器 (8 0) と、

当該第 1 の光分波器 (8 0) から出力される各信号光の波長分散を補償する、分散補償量を変更自在な第 1 及び 2 の分散補償装置 (3 2 , 8 2) と、

当該第 1 の分散補償装置 (3 2) の出力光を 2 分割する第 2 の光分波器 (8 8) と、

当該第 2 の光分波器 (8 8) の一方の出力信号光から、当該信号光の搬送するデータを復調するデータ復調装置 (3 6 , 3 8 - 1 ~ 4) と、

光自己相関装置 (8 4) と、

当該第 2 の分散補償装置 (3 2 , 8 2) の出力信号光及び当該第 2 の光分波器 (8 8) の他方の出力光を当該光自己相関装置 (8 4) に供給する光セレクタ (

90) と、

当該第2の分散補償装置(32, 82)の出力信号光が当該光自己相関装置(84)に供給されるように光セレクタ(90)を制御した状態で、当該光自己相関装置(84)の自己相関が大きくなるように当該第2の分散補償装置(82)の制御を試行し; その試行結果に従い当該第1の分散補償装置(32)を制御する制御装置(92)

とを具備することを特徴とする光受信装置。

【請求項9】 当該制御装置(92)が、当該試行結果を当該第1の分散補償装置(32)に設定した後で、当該第1の分散補償装置(32)の出力信号光が当該光自己相関装置(84)に供給されるように光セレクタ(90)を制御した状態で当該光自己相関装置(84)の自己相関が大きくなるように当該第1の分散補償装置(32)を制御する請求項7に記載の光受信装置。

【請求項10】 当該データ復調装置(36, 38-1)が、当該光伝送路の伝送誤り率を示す情報を算出する伝送誤り率情報算出装置(42)を具備し、

当該制御装置(92)が、当該伝送誤り率情報算出装置(42)の出力に従い、当該伝送誤り率が小さくなるように、当該第1の分散補償装置(32)を制御する請求項8に記載の光受信装置。

【請求項11】 当該第1の分散補償装置が、分散補償量及び分散スロープを変更自在な分散/分散スロープ補償装置(32)であり、

当該制御装置(92)が、当該伝送誤り率情報が小さくなるように当該分散/分散スロープ補償装置(32)の当該分散スロープを制御する請求項10に記載の光受信装置。

【請求項12】 光伝送路(20)から入力する信号光の波長分散を補償する分散補償装置(32)を制御する分散補償制御方法であって、

当該分散補償装置(32)の出力信号光から当該光伝送路の伝送誤り率を示す情報を算出する伝送誤り率情報算出ステップ(38-1)と、

当該分散補償装置(32)の出力信号光の自己相関を演算する自己相関演算ステップ(44)と、

当該自己相関が大きくなるように当該分散補償装置(32)を制御する制御ス

テップ（４６）

とを具備することを特徴とする分散補償制御方法。

【請求項１３】 更に、当該分散補償装置（３２）の出力信号光から当該光伝送路の伝送誤り率を示す情報を算出する伝送誤り率情報算出ステップ（３８－１）を具備し、

当該制御ステップ（４６）が、当該自己相関が大きくなるように、かつ、当該伝送誤り率情報が小さくなるように、当該分散補償装置（３２）を制御する請求項１２に記載の分散補償制御方法。

【請求項１４】 当該制御ステップ（４６）が、当該自己相関が大きくなるように当該分散補償装置（３２）を制御し、その後、当該伝送誤り率が小さくなるように当該分散補償装置（３２）を制御するステップからなる請求項１３に記載の分散補償制御方法。

【請求項１５】 当該分散補償装置が、分散補償量及び分散スロープを変更自在な分散／分散スロープ補償装置（３２）であり、

当該制御ステップ（４６）が、当該自己相関が大きくなるように当該分散／分散スロープ補償装置（３２）の分散補償量を制御し、当該伝送誤り率が小さくなるように当該分散／分散スロープ補償装置（３２）の当該分散スロープを制御する請求項１３に記載の分散補償制御方法。

【請求項１６】 光伝送路（２０）から入力する信号光の波長分散を補償する第１の分散補償装置（３２）を制御する分散補償制御方法であって、

光伝送路（２０）から入力する信号光の波長分散を補償する、分散補償量を変更自在な第２の分散補償装置（８２）を用意するステップと、

当該第２の分散補償装置（８２）の出力信号光の自己相関を演算する自己相関演算ステップと、

当該自己相関が大きくなるように当該第２の分散補償装置（８２）の制御を試行する試行ステップと、

当該試行ステップの試行結果に従い当該第１の分散補償装置（３２）を制御する制御ステップ

とを具備することを特徴とする分散補償制御方法。

【請求項 1 7】 更に、当該第 1 の分散補償装置（3 2）の出力信号光から当該光伝送路の伝送誤り率を示す情報を算出する伝送誤り率情報算出ステップを具備し、

当該制御ステップが更に、当該伝送誤り率が小さくなるように、当該第 1 の分散補償装置（3 2）を制御するステップを含む請求項 1 6 に記載の分散補償制御方法。

【請求項 1 8】 当該第 1 の分散補償装置が、分散補償量及び分散スロープを変更自在な分散／分散スロープ補償装置（3 2）であり、

当該制御ステップが、当該伝送誤り率が小さくなるように当該分散／分散スロープ補償装置（3 2）の当該分散スロープを制御するステップからなる請求項 1 7 に記載の分散補償制御方法。

【請求項 1 9】 光伝送路（2 0）から入力する信号光の波長分散を補償する第 1 の分散補償装置（3 2）を制御する分散補償制御方法であって、

光伝送路（2 0）から入力する信号光の波長分散を補償する、分散補償量を変更自在な第 2 の分散補償装置（8 2）を用意するステップと、

当該第 1 の分散補償装置（3 2）の出力信号光から当該光伝送路の伝送誤り率情報を算出する伝送誤り率情報算出ステップ（3 8 - 1）と、

当該第 2 の分散補償装置（8 2）の出力信号光の自己相関を算出し、当該自己相関が大きくなるように当該第 2 の分散補償装置（8 2）の制御を試行する試行ステップと、

当該試行ステップの試行結果に従い当該第 1 の分散補償装置（3 2）を設定する設定ステップ

とを具備することを特徴とする分散補償制御方法。

【請求項 2 0】 更に、当該第 1 の分散補償装置（3 2）の出力信号光から当該光伝送路の伝送誤り率を示す情報を算出する伝送誤り率情報算出ステップと、

当該伝送誤り率が小さくなるように、当該第 1 の分散補償装置（3 2）を制御する第 1 の制御ステップ

とを具備する請求項 1 9 に記載の分散補償制御方法。

【請求項 2 1】 更に、当該設定ステップの後、当該第 1 の分散補償装置（3 2

）の出力信号光の自己相関を算出し、当該自己相関が大きくなるように当該第 1 の分散補償装置（32）を制御する第 2 の制御ステップを具備する請求項 19 に記載の分散制御方法。

【請求項 22】 当該第 1 の分散補償装置が、分散補償量及び分散スロープを変更自在な分散／分散スロープ補償装置（32）であり、

当該第 1 の制御ステップが、当該伝送誤り率が小さくなるように当該分散／分散スロープ補償装置（32）の当該分散スロープを制御するステップからなる請求項 20 に記載の分散補償制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光受信装置及び分散補償制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

長距離・高速の光伝送システム、特に波長分割多重で多波長の信号光を伝送する光伝送路では、波長分散と、必要により分散スロープとを補償する必要がある。例えば、分散及び分散スロープを補償する光伝送システム、並びにこれらのための補償装置に関して、

米国特許第 6, 496, 615 号公報、

米国特許第 6, 490, 398 号公報、

米国特許第 6, 453, 093 号公報、

米国特許第 6, 445, 864 号公報、

米国特許第 6, 430, 347 号公報、

米国特許第 6, 363, 184 号公報、

米国特許第 6, 310, 993 号公報、及び

米国特許第 6, 301, 048 号公報

がある。

【0003】

光パルス幅が小さくなるほど、信号スペクトルが広がる。その結果、1 波長あ

たりのビットレートが160Gb/s以上になる超高速光パルス伝送システムでは、光ファイバ伝送路の、高次分散を含む波長分散の影響が深刻となる。

【0004】

1波長あたり10Gb/s～40Gb/sのWDM（波長分割多重）光伝送システムでは、光ファイバ伝送路上で周期的に累積分散及び分散スロープを補償する分散マネジメントと、光伝送路の終端で残留波長分散を補償するポスト分散補償を併用する。

【0005】

ビットレートが高速なほど分散トレランスは狭くなる。160Gb/s以上の超高速光パルス伝送システムでは、分散補償ファイバなどの、分散補償量が固定された分散補償デバイスを用いて適切な分散補償を実現するのは困難となる。さらに、光ファイバの波長分散は、温度変動等により経時的に変動する。最近の光ネットワークでは光信号パスを需要及び障害の有無等に応じて切り替える。これらに対応するには、適応的な自動分散制御が不可欠となる。

【0006】

従来の自動分散制御方法として、伝送光信号を分岐して電気信号に変換し、電気スペクトルにおいて、信号クロック成分の強度をモニタし、それが最大となるように可変分散制御器を負帰還制御する方法が提案されている。例えば、H. Ooi, T. Takahara, G. Ishikawa, S. Wakana, Y. Kawahata, H. Isono and N. Mitamura "40-Gbit/s WDM automatic dispersion compensation with virtually imaged phased array (VIPA) variable dispersion compensators", IEICE Trans. Commun. vol. E85-B, No. 2, pp. 463-469, 2002. に記載されている。光信号の受信端で、分散補償装置の分散補償量を自動制御する構成が、米国特許第6,370,300号公報又は特開2000-244394公報に記載されている。

【0007】

分散補償量を調節可能な分散補償装置が、米国特許第 6, 3 3 0, 3 8 3 号公報及び米国特許第 6, 3 0 1, 0 4 8 号公報に記載されている。

【0 0 0 8】

光デュオバイナリ変調方式の光伝送システムにおいて、光信号の特定周波数成分の強度に従い、分散保証装置の分散値を制御する構成が、特開 2 0 0 1 - 3 3 9 3 4 5 号公報及びこれに対応する米国特許出願公開 2 0 0 1 / 4 6 0 7 7 公報に記載されている。

【0 0 0 9】

光ファイバ伝送路の分散補償量が所定値内にあるかどうかを検出し、その結果に従い分散補償量を制御する構成が、特開 2 0 0 1 - 2 1 1 1 2 2 公報及びこれに対応する米国特許出願公開 2 0 0 1 / 9 4 6 7 公報に記載されている。

【0 0 1 0】

光ファイバ伝送路の波長分散による波形劣化の検出とその補償方法が、特開平 1 1 - 1 2 2 1 7 3 号公報及びこれに対応する米国特許 5, 9 9 9, 2 8 9 号公報に記載されている。

【0 0 1 1】

【発明が解決しようとする課題】

従来の構成では、クロック周波数が光電変換可能な 4 0 ~ 8 0 G b / s 以下のビットレートに制限されてしまう。1 6 0 G b / s 以上の場合、そのまま電気信号に変換して信号品質をモニタすることは不可能である。受信信号品質を電気段でモニタして分散制御する方法では、1 6 0 G b / s の信号を 4 0 G b / s 以下のトリビュタリ信号にパルス分離 (D E M U X) する必要がある。しかし、一般に 1 0 G b / s 以上の信号の品質をモニタする装置にはコストの高い電子回路が必要であり、D E M U X による信号品質劣化も含まれる。トリビュタリチャネル間の信号品質劣化にばらつきがある場合、分散制御の誤動作の原因になる。

【0 0 1 2】

単一波長伝送でも、1 6 0 G b / s というような高速伝送の場合、信号スペクトルの拡がりの影響を無視できず、分散スロープを補償する必要がでてくる。

【0 0 1 3】

本発明は、160Gb/s以上の高速な光パルス伝送にも対応可能な光受信装置及び分散補償制御方法を提示することを目的とする。

【0014】

本発明はまた、光伝送路の波長分散特性の経時変動に追従して波長分散を好ましい状態に自動管理する光受信装置及び分散補償制御方法を提示することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】

本発明では、信号光の自己相関を演算する光自己相関装置を設け、自己相関が大きくなるように、好ましくは最大になるように、信号光の波長分散を補償する分散補償装置を制御する。本発明はまた、分散補償後の信号光から光伝送路の伝送誤り率情報を算出する伝送誤り率情報算出装置を設け、当該伝送誤り情報が小さくなるように、好ましくは最小になるように当該分散補償装置を制御する。

【0016】

このような構成により、160Gb/s以上というような高速の光伝送の場合にも、分散補償装置を適切に制御できるようになる。

【0017】

好ましくは、自己相関が大きくなるように当該分散補償装置を制御し、その後、伝送誤り率情報が小さくなるように当該分散補償装置を制御する。

【0018】

好ましくは、当該分散補償装置が、分散補償量及び分散スロープを変更自在な分散／分散スロープ補償装置である。そして、自己相関が大きくなるように当該分散／分散スロープ補償装置の分散補償量を制御し、伝送誤り率情報が小さくなるように分散／分散スロープ補償装置の分散スロープを制御する。

【0019】

別の発明として、適切な分散補償量を決定するために、本線上の第1の分散補償装置とは別に第2の分散補償装置を設ける。第2の分散補償装置の出力信号光の自己相関を演算し、その自己相関が大きくなるように当該第2の分散補償装置(82)の制御を試行する。その試行結果に従い第1の分散補償装置を制御する

【 0 0 2 0 】

好ましくは、第 1 の分散補償装置が、分散補償量及び分散スロープを変更自在な分散／分散スロープ補償装置である。第 1 の分散補償装置の出力信号光から得られる光伝送路の伝送誤り率情報が小さくなるように分散／分散スロープ補償装置の分散スロープを制御する。

【 0 0 2 1 】

更に別の発明として、適切な分散補償量を決定するために、本線上の第 1 の分散補償装置とは別に第 2 の分散補償装置を設ける。第 2 の分散補償装置の出力信号光の自己相関を演算し、その自己相関が大きくなるように第 2 の分散補償装置の制御を試行する。その試行結果に従い第 1 の分散補償装置を初期設定する。以後、第 1 の分散補償装置の出力信号光の自己相関を算出し、その自己相関が大きくなるように第 1 の分散補償装置を制御し、第 1 の分散補償装置の出力信号光から得られる光伝送路の伝送誤り率情報が小さくなるように第 1 の分散補償装置を制御する。

【 0 0 2 2 】

好ましくは、第 1 の分散補償装置が、分散補償量及び分散スロープを変更自在な分散／分散スロープ補償装置である。第 1 の分散補償装置の出力信号光から得られる光伝送路の伝送誤り率情報が小さくなるように分散／分散スロープ補償装置の分散スロープを制御する。

【 0 0 2 3 】

【実施例】

以下、図面を参照して、本発明の実施例を詳細に説明する。

【 0 0 2 4 】

(第 1 実施例)

図 1 は、本発明の分散補償光伝送システムの第 1 実施例の概略構成ブロック図を示す。本実施例のシステムは、光送信装置 1 0、分散補償光伝送路 2 0 及び光受信装置 3 0 からなる。

【 0 0 2 5 】

光送信装置 1 0 の構成と動作を説明する。パルス光源 1 2 は、単一波長 λ_s の光パルス列を出力する。ここでは、パルス光源 1 2 は、4 0 G H z の光パルス列を出力するとする。光分波器 1 4 は、パルス光源 1 2 の出力パルスを 4 つに分割し、それぞれをデータ変調器 1 6 - 1 ~ 1 6 - 4 に供給する。データ変調器 1 6 - 1 は、光分波器 1 4 からの光パルス列の振幅をデータ D 1 に従って 2 値変調する。同様に、データ変調器 1 6 - 2 ~ 1 6 - 4 はそれぞれ、光分波器 1 4 からの光パルス列の振幅をデータ D 2 ~ D 4 に従って 2 値変調する。これにより、データ変調器 1 6 - 1 ~ 1 6 - 4 は、それぞれ、データ D 1 ~ D 4 を搬送する 4 0 G b / s の光パルス信号を出力する。光時分割多重 (O T D M) の多重装置 1 7 は、データ変調器 1 6 - 1 ~ 1 6 - 4 からの光パルス信号を時分割多重、即ち、互いに異なるタイムスロットで多重する。O T D M 多重装置 1 7 の出力信号光のデータレートは、1 6 0 G b / s になる。光増幅器 1 8 は、O T D M 多重装置 1 7 の出力信号光を光増幅して、光伝送路 2 0 に出力する。

【 0 0 2 6 】

光伝送路 2 0 上には、伝送用光ファイバ 2 2、分散補償ファイバ (D C F) 2 4 及び光増幅器 2 6 が分散配置されている。分散補償量の異なる D C F 2 4 が光伝送路 2 0 上に配置されることもある。このような、D C F 2 4 及び光増幅器 2 6 を具備する光伝送路自体は、周知であるので、これ以上の説明は省略する。

【 0 0 2 7 】

光受信装置 3 0 の構成と動作を説明する。光伝送路 2 0 を伝搬した信号光は、波長分散及び波長分散スロープを調節可能な可変分散 / 分散スロープ補償装置 3 2 に入力する。可変分散 / 分散スロープ補償装置 3 2 の詳細は後述する。

【 0 0 2 8 】

分波器 3 4 は、可変分散 / 分散スロープ補償装置 3 2 の出力光を 2 つに分割し、一方を O T D M の同期型光分離装置 3 6 に供給し、他方を光自己相関器 4 4 に供給する。同期型光分離装置 3 6 は、分波器 3 4 の出力光からクロックを抽出し、そのクロックに同期して 4 つのチャンネル c h 1 ~ c h 4 を分離し、それぞれをデータ復調装置 3 8 - 1 ~ 3 8 - 4 に供給する。

【 0 0 2 9 】

このような目的の同期型光分離装置 36 は、例えば、T. Miyazaki et al, IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 14, No. 12, pp. 734-1736 に記載されているように、注入同期半導体モードロックレーザと、対称マッハツェンダ型光スイッチとの組み合わせで実現できる。40 GHz でパルス発振する注入同期型モードロックレーザに 160 Gb/s の入力光を入力する。これにより、注入同期型モードロックレーザが、160 Gb/s の入力光に同期した 40 GHz の光クロックを出力する。160 Gb/s の入力と、注入同期型モードロックレーザがからの 40 GHz の光クロックを対称マッハツェンダ型光スイッチに入力する。これにより、40 Gb/s の 1 つのチャンネルを分離できる。分離したいチャンネル数だけ、対称マッハツェンダ型光スイッチを用意すればよい。

【0030】

データ復調装置 38-1 は、3R 受信装置 40 と誤り訂正装置 42 からなる。分離装置 36 で分離された ch1 の信号光は、データ復調装置 38-1 の 3R 受信装置 40 に入力する。3R 受信装置 40 は、分離装置 36 からの ch1 の信号光を電気信号に変換する受光器と、受光器から出力される電気信号を 3R (retiming, reshaping 及び regeneration) 再生し、クロックを抽出する電気回路とからなる。3R 受信装置 40 は、ch1 の信号光で搬送されたデータとそのクロックを復元する。3R 受信装置 40 は、本実施例では、40 Gb/s に対応できれば良い。3R 受信装置 40 により復元されたデータ信号とクロックは、誤り訂正装置 42 に供給される。誤り訂正装置 42 は、3R 受信装置 40 から供給されるデータ信号とクロックに従い、そのデータ信号に含まれる誤り検出訂正符号を使って誤りを訂正し、受信データ D1r を出力する。誤り訂正が有効に機能している場合、受信データ D1r は、光送信装置 10 におけるデータ D1 と一致することはいうまでもない。誤り訂正装置 42 はまた、受信データの誤り率情報を制御装置 46 に供給する。

【0031】

データ復調装置 38-2 ~ 38-4 も、データ復調装置 38-1 と同様に、3R 受信装置と誤り訂正装置からなる。但し、データ復調装置 38-2 ~ 38-4

の誤り訂正装置で検出される誤り率情報は、制御装置46に供給しなくてもよい。

【0032】

図2は、光自己相関装置44の概略構成例を示す。分波器50が入力光（分波器34の一方の出力光）を2つに分割し、一方を固定の遅延器52に供給し、他方を可変遅延器54に供給する。可変遅延器54は、光軸方向に移動自在なミラー54aと、ミラー54aを光軸方向に移動するアクチュエータ54bからなる。合波器56は、固定遅延器52の出力光と可変遅延器54の出力光を合波する。合波器56による合波光は、2光子吸収のアバランショ・フォトダイオード（APD）58に印加され、ここで電気信号に変換される。プリアンプ60は、APD60の出力を増幅して制御装置46に供給する。掃引信号源62は、制御装置46からのトリガー信号に従い、アクチュエータ54bに対する駆動信号となる掃引信号を発生する。掃引信号源62の出力する掃引信号に従い、アクチュエータ54bが、ミラー54aを光軸方向に前後に移動する。これにより、可変遅延器54の遅延時間が一定範囲で掃引される。

【0033】

図3は、可変遅延器54の遅延時間に対するアンプ60の出力変化例を示す。可変遅延器54の遅延時間に対して、アンプ60の出力振幅が周期的に変化する。そして、相関が最も強い位置で、アンプ60の出力振幅が最大になる。アンプ60の出力が最大になるときの、バイアス I_{ave} からの増加分を ΔI とすると、信号光の波形劣化が少なければ少ないほど、バイアス I_{ave} に対するコントラスト $\Delta I / I_{ave}$ が大きくなる。従って、コントラスト $\Delta I / I_{ave}$ が大きくなる方向に分散補償量を制御すれば良いことになる。

【0034】

2光子吸収型APD58の代わりにSHG（第2高調波発生）結晶とAPDを使用しても良い。この場合、SHG結晶には、2つの光波を互いに僅かの角度を付けて入力する。SHG結晶は、入力する2つの光波の積に相当する周波数の光を発生する。SHG結晶で発生した光波をAPDに入力する。APDの出力は、SHG結晶に入力する2つの光波の相関を示す。この場合、 I_{ave} が零又は非

常に小さくなるので、交番成分の振幅 ΔI が自己相関の程度を示す。

【0035】

制御装置46は、掃引信号源62による1回の掃引に対し、アンプ60の出力に含まれる交番成分の最大変動分 ΔI 、具体的にはコントラスト比 $\Delta I / I_{ave}$ を計測し、自己相関値の指標として記憶する。そして、制御装置46は、このコントラスト比がより大きくなるように、可変分散／分散スロープ補償装置32の分散補償量又は、分散補償量及び分散スロープを制御する。

【0036】

制御装置46はまた、ch1のデータ復調装置38-1の誤り訂正装置42からの誤り率(BER)に従い、その誤り率が最低になるように、可変分散／分散スロープ補償装置32の分散補償量又は、分散補償量及び分散スロープを制御する。

【0037】

いわば、制御装置46は、受信信号光の自己相関が最大になるように可変分散／分散スロープ補償装置32を粗調整し、受信信号のBER誤り率がより低くなるように、可変分散／分散スロープ補償装置32を微調整する。例えば、受信信号のBERが所定値(例えば、 10^{-5})以上になったら、自己相関値による可変分散／分散スロープ補償装置32の制御(粗調整)を起動する。

【0038】

図4は、可変分散／分散スロープ補償装置32の概略構成図を示す。図4では、波長分散を補償する分散補償装置70と、分散スロープを補償する分散スロープ補償装置72をシリアルに接続してある。

【0039】

分散補償装置70は、光サーキュレータ70a、ファイバグレーティング70b、ファイバグレーティング70bを加熱するヒータ70c、及び電流をヒータ70cに供給する電源70dとからなる。光サーキュレータ70aは、装置32の入力光をファイバグレーティング70bに供給し、ファイバグレーティング70bで反射された光を分散スロープ補償装置72に転送する。電源70dが、制御装置46からの粗制御信号に応じた電流をヒータ70cに供給し、ヒータ70

cがファイバグレーティング70bを加熱する。これにより、ファイバグレーティング70bの波長分散特性が変化する。ファイバグレーティングを加熱することにより分散補償量を調節できるこのような構成の分散補償装置自体は、公知である。ファイバグレーティング70bは、信号波長 λ_s において所望の範囲の分散補償量を与えられるように設計されている。

【0040】

分散スロープ補償装置72も、基本的に、分散補償装置70と同じ構成から成る。即ち、分散スロープ補償装置72は、光サーキュレータ72a、ファイバグレーティング72b、ファイバグレーティング72bを加熱するヒータ72c、及び電流をヒータ72cに供給する電源72dとからなる。光サーキュレータ72aは、分散補償装置70の光サーキュレータ70aからの光をファイバグレーティング72bに供給し、ファイバグレーティング72bで反射された光を外部に出力する。電源72dが、制御装置46からの微調制御信号に応じた電流をヒータ72cに供給し、ヒータ72cがファイバグレーティング72bを加熱する。これにより、ファイバグレーティング72bの波長分散の傾き（分散スロープ）が、波長 λ_s を中心に変化する。ファイバグレーティング72bは、信号波長 λ_s を中心に所望の波長範囲で波長分散の傾きを変更できるように設計されている。

【0041】

2つの光サーキュレータ72a、74aを単一の4ポートの光サーキュレータで代替できることは明らかである。

【0042】

分散スロープ補償装置としては、分散スロープが逆符号の2つのファイバグレーティングを具備し、これらを個別に制御することで、注目波長での波長分散を一定に保てるようにした構成のものがある。このような構成の分散スロープ補償装置も、分散スロープ補消息費72として使用できる。

【0043】

更には、温度分布を細かく制御することで、単一のファイバグレーティングであっても、温度分布を細かく制御することで、波長分散と分散スロープを独立に

制御することができる。このような構成の可変分散／分散スロープ補償装置を本実施例の可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 として使用できる。

【 0 0 4 4 】

図 5 は、可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 の別の構成の概略構成図を示す。図 5 に示す例では、単一のファイバグレーティングで分散と分散スロープの両方を補償する。図 5 に示す例では、可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 は、光サーキュレータ 7 4 a、ファイバグレーティング 7 4 b、ファイバグレーティング 7 4 b を加熱するヒータ 7 4 c、電流をヒータ 7 4 c に供給する電源 7 4 d、及び、制御装置 4 6 からの粗調制御信号と微調制御信号を加算し、加算結果を電源 7 4 d に印加する加算器 7 4 e とからなる。

【 0 0 4 5 】

光サーキュレータ 7 4 a は、装置 3 2 の入力光をファイバグレーティング 7 4 b に供給し、ファイバグレーティング 7 4 b で反射された光を装置 3 2 の外部に出力する。加算器 7 4 e は、制御装置 4 6 からの粗調制御信号と微調制御信号を加算し、加算結果を電源 7 4 d に印加する。電源 7 4 d は、加算器 7 4 e の出力の大きさに応じた電流をヒータ 7 4 c に供給し、ヒータ 7 4 c がファイバグレーティング 7 4 b を加熱する。これにより、ファイバグレーティング 7 4 b の波長分散特性及び分散スロープが変化する。ファイバグレーティング 7 4 b は、信号波長 λ_s において所望の範囲の分散補償量を与えられるように、かつまた、信号波長 λ_s において所望の範囲で分散スロープを変更できるように設計されている。

【 0 0 4 6 】

図 4 に示す構成では、2つの光サーキュレータと2つのファイバグレーティングを必要とするが、分散補償と分散スロープ補償を独立に設定できるので、細かい制御が可能になる。

【 0 0 4 7 】

自己相関による分散／分散スロープ補償の制御（粗調）と、BERによる分散／分散スロープ補償の制御（微調）は、同時に実行しても良いが、両者を無関係に実行した場合に、分散／分散スロープ補償を好ましい状態に制御できない可能

性がある。従って、先ず、自己相関による分散／分散スロープ補償の制御（粗調）を実行し、その後に、BERによる分散／分散スロープ補償の制御（微調）を実行するのが好ましい。BERが大幅に劣化した場合に、自己相関による分散／分散スロープ補償の制御（粗調）を再試行すればよい。

【0048】

図6は、図4に示す構成の可変分散／分散スロープ補償装置32に対する分散補償制御のフローチャートを示す。制御装置46は先ず、光自己相関装置44により、可変分散／分散スロープ補償装置32の出力光の自己相関（ここでは、コントラスト比CR）を計測する（S1）。計測されたコントラスト比CRが閾値 CR_{th} 以上の場合（S2）、可変分散／分散スロープ補償装置32の補償量を制御する必要が無いので、ステップ1に戻る。

【0049】

計測されたコントラスト比CRが閾値 CR_{th} より小さい場合（S2）、コントラスト比CRが大きくなるように、可変分散／分散スロープ補償装置32における分散補償量を制御する（S3）。例えば、可変分散／分散スロープ補償装置32における分散補償をステップ的に変化させて、各変化におけるコントラスト比を計測する。2点のBコントラスト比を対比することで、コントラスト比が大きくなる分散補償量の変化方向が分かる。3点のコントラスト比を対比することで、コントラスト比が極値になっているかどうか分かる。そこで、2点、好ましくは3点のコントラスト比を対比して、コントラスト比が大きくなる方向に、可変分散／分散スロープ補償装置32における分散補償量を僅かに変化させる。これを繰り返すことで、コントラスト比が最大になる位置に、可変分散／分散スロープ補償装置32における分散補償量を制御できる。

【0050】

次に、制御装置46は、誤り訂正装置42から出力される誤り率（BER）を取り込む（S4）。BERが微調を実行するほどには小さくない場合（S5）、例えば、 BER_{th} （ $\sim 10^{-5}$ ）より小さくない場合、ステップS1に戻り、自己相関による分散制御（粗調）を再試行する。

【0051】

BERが BER_{th} より小さい場合(S5)、BERが小さくなるように、可変分散／分散スロープ補償装置32における分散スロープ補償を制御する(S6)。例えば、可変分散／分散スロープ補償装置32における分散スロープを波長 λ_s を中心にステップ的に変化させて、各変化におけるBERを計測する。2点のBERを対比することで、BERが少なくなる分散スロープの変化方向が分かる。3点のBERを対比することで、BERが極値になっているかどうか分かる。そこで、2点、好ましくは3点のBERを対比して、BERが小さくなる方向に、可変分散／分散スロープ補償装置32の分散スロープを僅かに変化させる。これを繰り返すことで、BERが最小になる位置に、可変分散／分散スロープ補償装置32の分散スロープを制御できる。

【0052】

BERによる可変分散／分散スロープ補償装置32の制御の間に、BERが BER_{th} 以上になったら(S5)、ステップS1に戻り、自己相関による分散制御(粗調)を再試行する。

【0053】

図6では、BERによる分散制御を開始する閾値と、BERによる分散制御を抜ける閾値を共に、同じ値(10^{-5})としたが、それぞれに適した値を設定してもよいことはいうまでもない。

【0054】

(第2実施例)

第1実施例では、データの復調に使用する信号光に対する分散／分散スロープを制御したので、その制御によりデータの復調に支障が生じ得る。例えば、インサービスでの実施が難しくなったり、誤り訂正不能のエラーが残ったりする。

【0055】

そこで、第2実施例として、自己相関及びBERに応じた分散制御を試行するための可変分散／分散スロープ補償装置を別に配備することを提案する。図7は、そのような光受信装置の実施例の概略構成図を示す。図1に示す構成要素と同じ構成要素には、同じ符号を付してある。

【0056】

光分波器 8 0 は、光伝送路 2 0 から入力する光を 2 分割し、一方を可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 に供給し、他方を可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 に供給する。可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 は、可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 と同じ入出力特性、即ち同じ分散／分散スロープ補償特性を具備する。光自己相関装置 8 4 は、可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 の出力光の自己相関を演算する。光自己相関装置 8 4 の内部構成は、図 1 に示す実施例の光自己相関装置 4 4 と全く同じである。光自己相関装置 8 4 の相関結果及びデータ復調装置 3 8 - 1 からの誤り率 B E R は、制御装置 8 6 に印加される。

【 0 0 5 7 】

制御装置 8 6 は、先ず、可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 及び光自己相関装置 8 4 により、受信信号光の分散／分散スロープ補償に使用する可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 とは独立に、受信信号光に対して自己相関が最適になる分散制御を試行し、その試行結果に基づき可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 の分散補償量を粗調整する。制御装置 8 6 はまた、データ復調装置 3 8 - 1 からの B E R に従い可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 の分散スロープを微調整する。

【 0 0 5 8 】

図 7 に示す実施例では、信号光の受信に影響せずに、自己相関を最大にする分散補償量を決定できる。従って、データ D 1 ～ D 4 の受信が安定化し、データ伝送サービス中でも、より好ましい分散補償量を積極的に探索でき、好ましい分散補償量に可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 を迅速に制御できる。

【 0 0 5 9 】

図 7 に示す構成では、可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 の出力信号光の誤り率が不明であるので、B E R に基づき可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 の制御を試行することはできない。しかし、可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 の出力信号光の誤り率を計測する手段を追加し、計測された誤り率を制御装置 8 6 に印加することで、制御装置 8 6 は、誤り率 B E R に対しても、可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 の分散スロープ制御を試行できる。この場合、制御装置 8 6 は、分散制御の試行で得られた好ましい分散補償量及び分散スロープ補償量

に可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 を制御する。

【 0 0 6 0 】

(第 3 実施例)

可変分散／分散スロープ補償装置 3 2, 8 2 に同じ分散媒体、例えばファイバグレーティングを使用したとしても、個体差は避けえない。図 8 は、そのような個体差を吸収できる光受信装置の実施例の概略厚生ブロック図を示す。図 7 に示す構成要素と同じ構成要素には、同じ符号を付してある。

【 0 0 6 1 】

光分波器 8 8 が、可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 の出力光を 2 分割し、一方を分離装置 3 6 に供給し、他方を光セレクタ 9 0 に供給する。光セレクタ 9 0 は、可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 の出力光又は分波器 8 8 の出力光を光自己相関装置 8 4 に供給する。制御装置 9 2 は、可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 及び光自己相関装置 8 4 による分散補償の試行の際には、光セレクタ 9 0 を制御して可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 の出力光を光自己相関装置 8 4 に供給させる。試行が終わり、可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 を制御する際には、制御装置 9 2 は、光セレクタ 9 0 を制御して、部分波器 8 8 の出力光、即ち、可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 の出力光を光自己相関装置 8 4 に供給させる。

【 0 0 6 2 】

図 8 に示す構成では、自己相関に関する分散制御について、可変分散／分散スロープ補償装置 8 4 による試行分散補償結果をそのままの出力光を光自己相関装置 8 4 に供給させる。

【 0 0 6 3 】

図 8 に示す実施例では、図 7 に示す実施例の利点に加え、可変分散／分散スロープ補償装置 3 2, 8 2 の個体差を吸収できる。即ち、可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 による分散制御の試行結果に関わらず、実際に受信する信号光の分散補償量を最適に制御できる。可変分散／分散スロープ補償装置 8 2 で試行した上で可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 を制御するので、可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 での分散制御では、分散補償量を大きく変動させる必要が無く

なり、従って、受信特性が不必要に大きく変動することが無くなる。

【0064】

(その他)

上記実施例では、自己相関に対して分散補償量を制御し、BERに対して分散スロープを制御するとしたが、自己相関及びBERの何れに対しても、分散補償量を制御しても良い。また、必要がなければ、分散スロープの制御を省略しても良い。この点で、分散補償の制御は、広義では、分散スロープの制御を含み、狭義では、分散スロープの制御を含まない。

【0065】

BERの代わりに、光伝送路20のQ値を使用しても良い。BERとQ値の何れも、光伝送路の伝送誤り率情報として使用できる。

【0066】

自己相関に対する分散補償の制御としては、所定間隔で起動しても、自己相関値が所定値以下になったときに起動しても、自己相関が最大になるように常時、分散補償量（及び分散スロープ）を制御しても、どれでもよい。また、BERに対する分散補償の制御は、自己相関に対する分散補償制御の実行後に限定されないし、自己相関に対する分散補償制御とは独立に実行しても良い。勿論、自己相関に対する分散補償制御の実行後にBERに対する分散補償の制御を実行した方が、効率が良い。

【0067】

【発明の効果】

以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、非常に高速の光ファイバ伝送において、累積波長分散を適切に管理でき、良好な伝送特性を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施例の概略構成ブロック図である。

【図2】 光自己相関装置44の概略構成ブロック図である。

【図3】 遅延時間に対するアンプ60の出力変化例である。

【図4】 可変分散／分散スロープ補償装置32の一構成例の概略構成図であ

る。

【図 5】 可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 の別の構成例の概略構成図である。

【図 6】 自己相関値及び B E R に関する分散補償制御の一例のフローチャートである。

【図 7】 光受信装置の変更例の概略構成ブロック図である。

【図 8】 光受信装置の別の変更例の概略構成ブロック図である。

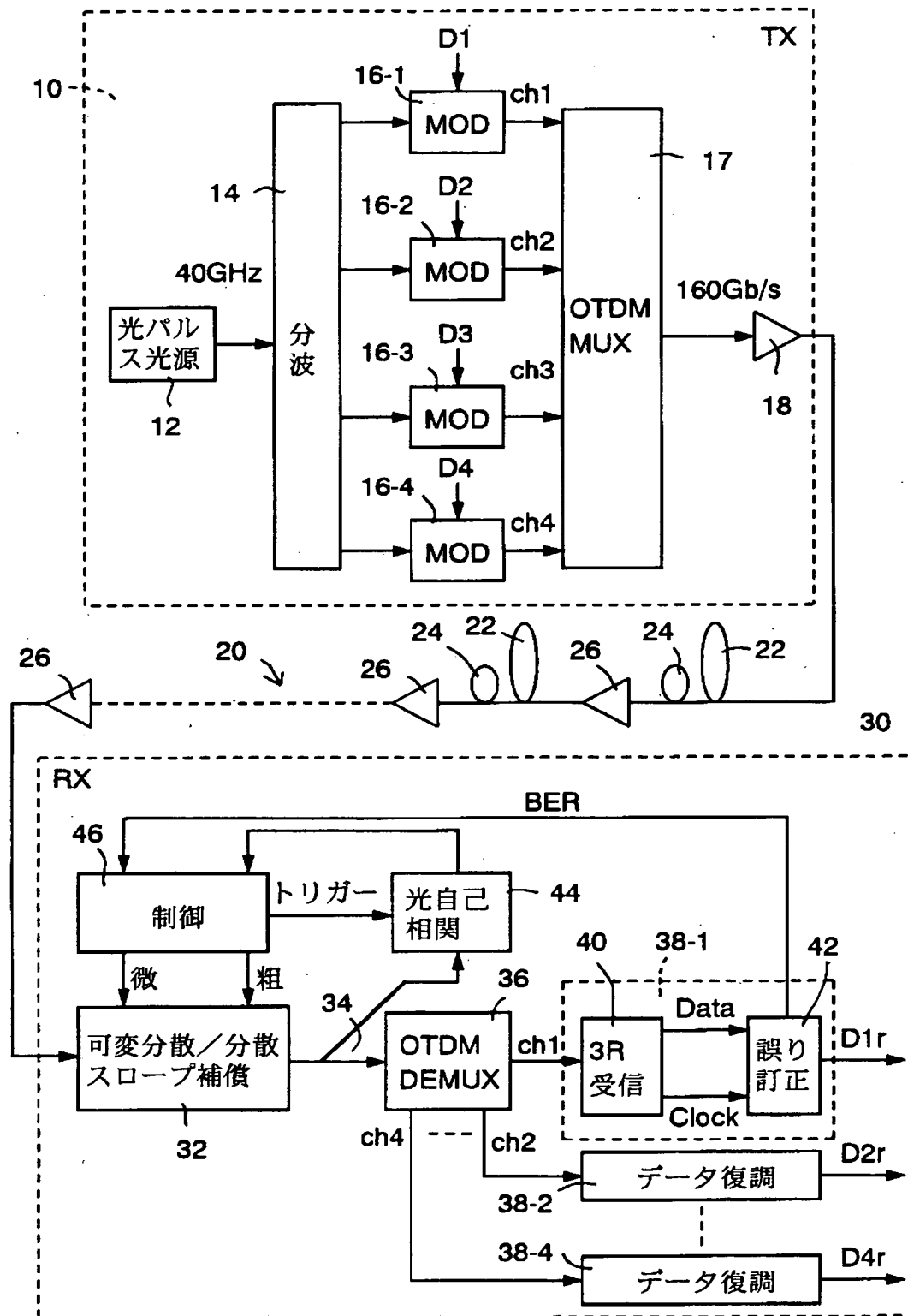
【符号の説明】

- 1 0 : 光送信装置
- 1 2 : パルス光源
- 1 4 : 光分波器
- 1 6 - 1 ~ 1 6 - 4 : データ変調器
- 1 7 : O T D M 多重装置
- 1 8 : 光増幅器
- 2 0 : 光伝送路
- 2 2 : 伝送用光ファイバ
- 2 4 : 分散補償ファイバ (D C F)
- 2 6 : 光増幅器
- 3 0 : 光受信装置
- 3 2 : 可変分散／分散スロープ補償装置
- 3 4 : 分波器
- 3 6 : 同期型光分離装置
- 3 8 - 1 ~ 3 8 - 4 : データ復調装置
- 4 0 : 3 R 受信装置
- 4 2 : 誤り訂正装置
- 4 4 : 光自己相関装置
- 4 6 : 制御装置
- 5 0 : 分波器
- 5 2 : 固定遅延器

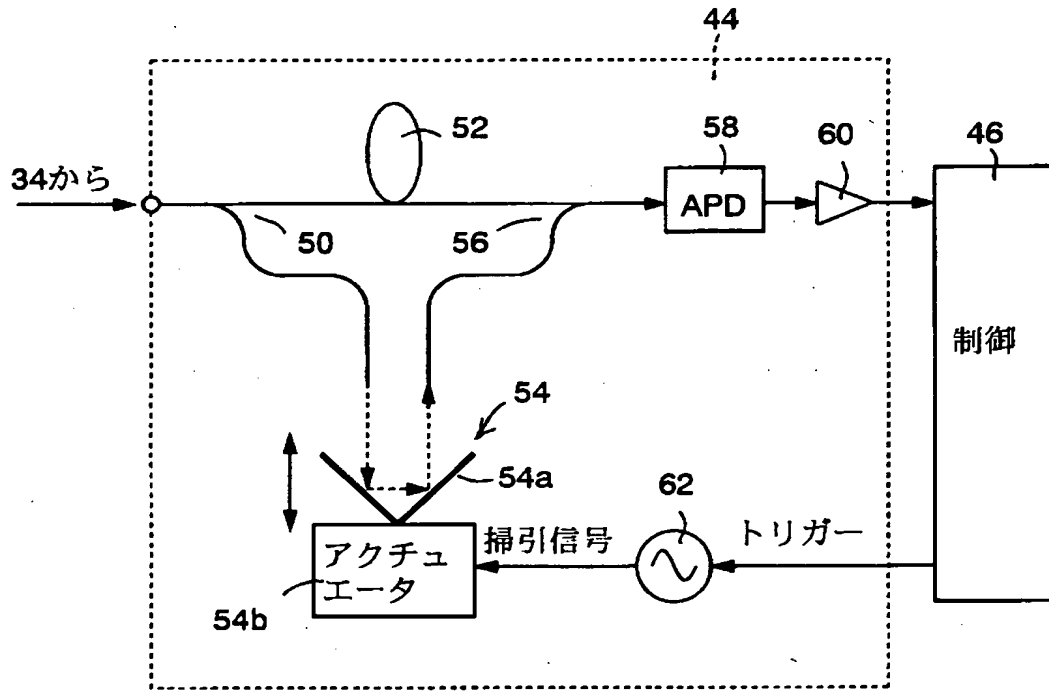
- 54 : 可変遅延器
- 54 a : ミラー
- 54 b : アクチュエータ
- 56 : 合波器
- 58 : 2光子吸収型アバランシヨ・フォトダイオード (APD)
- 60 : プリアンプ
- 62 : 掃引信号源
- 70 : 分散補償装置
- 70 a : 光サーキュレータ
- 70 b : ファイバグレーティング
- 70 c : ヒータ
- 70 d : 電源
- 72 : 分散スロープ補償装置
- 72 a : 光サーキュレータ
- 72 b : ファイバグレーティング
- 72 c : ヒータ
- 72 d : 電源
- 74 a : 光サーキュレータ
- 74 b : ファイバグレーティング
- 74 c : ヒータ
- 74 d : 電源
- 74 e : 加算器
- 80 : 光分波器
- 82 : 可変分散／分散スロープ補償装置
- 84 : 光自己相関装置
- 86 : 制御装置
- 88 : 光分波器
- 90 : 光セクタ
- 92 : 制御装置

【書類名】 図面

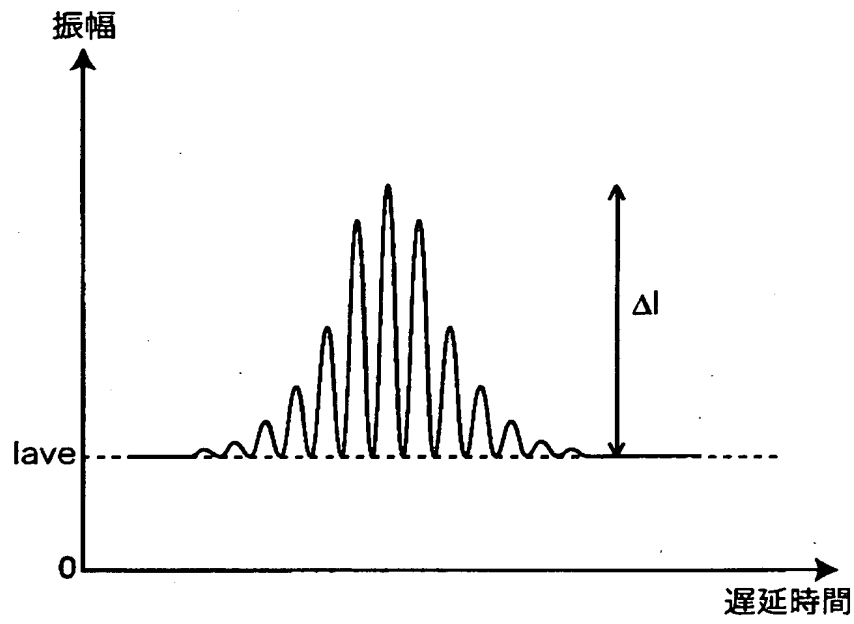
【図 1】



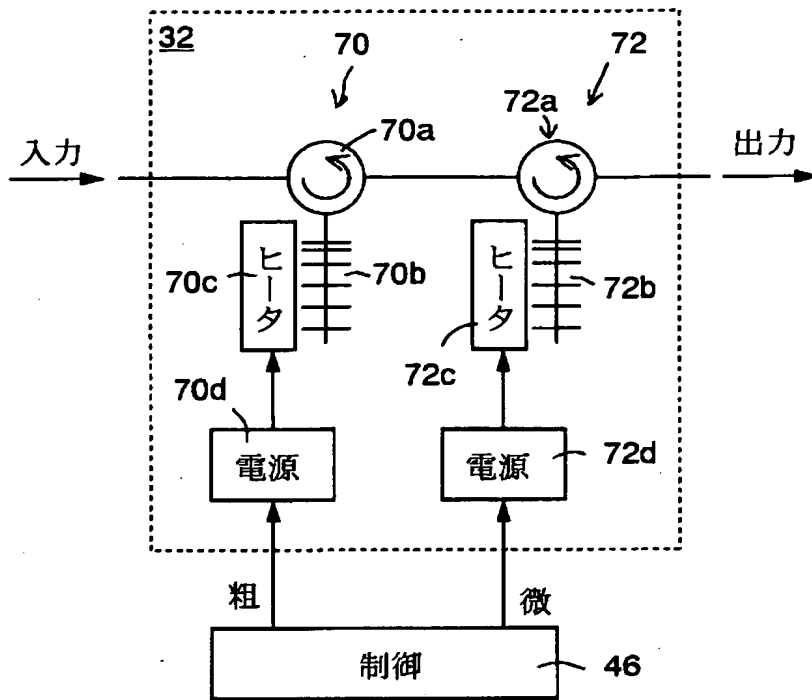
【図 2】



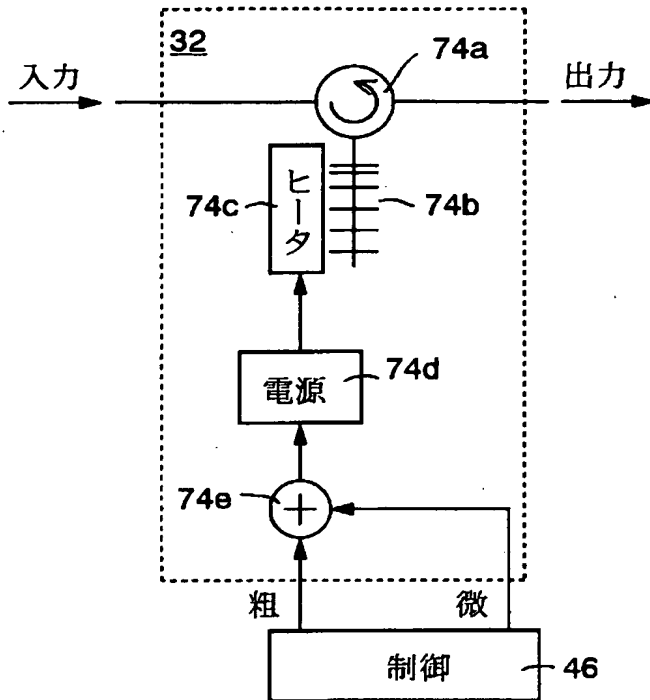
【图 3】



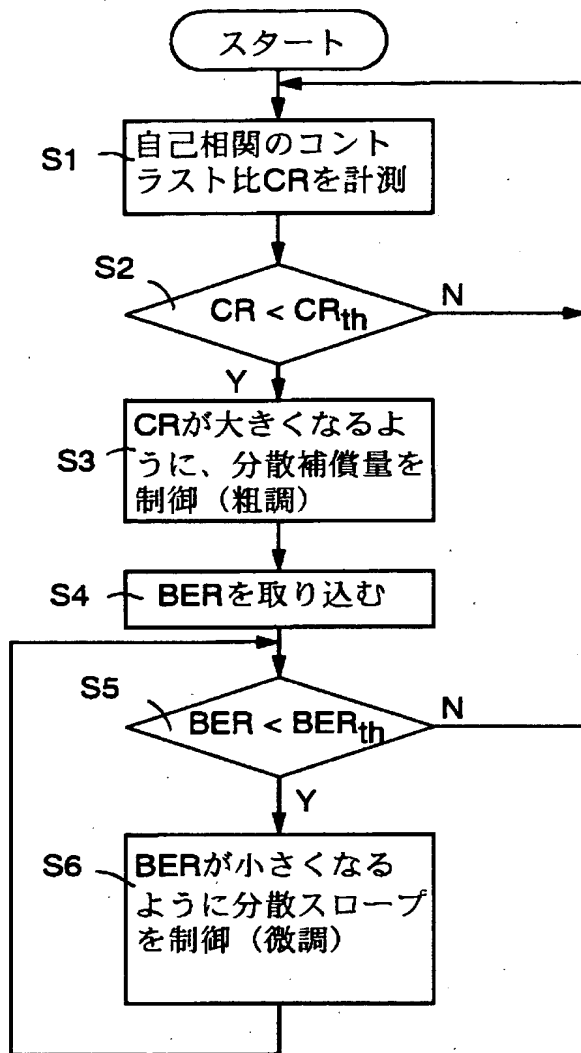
【図 4】



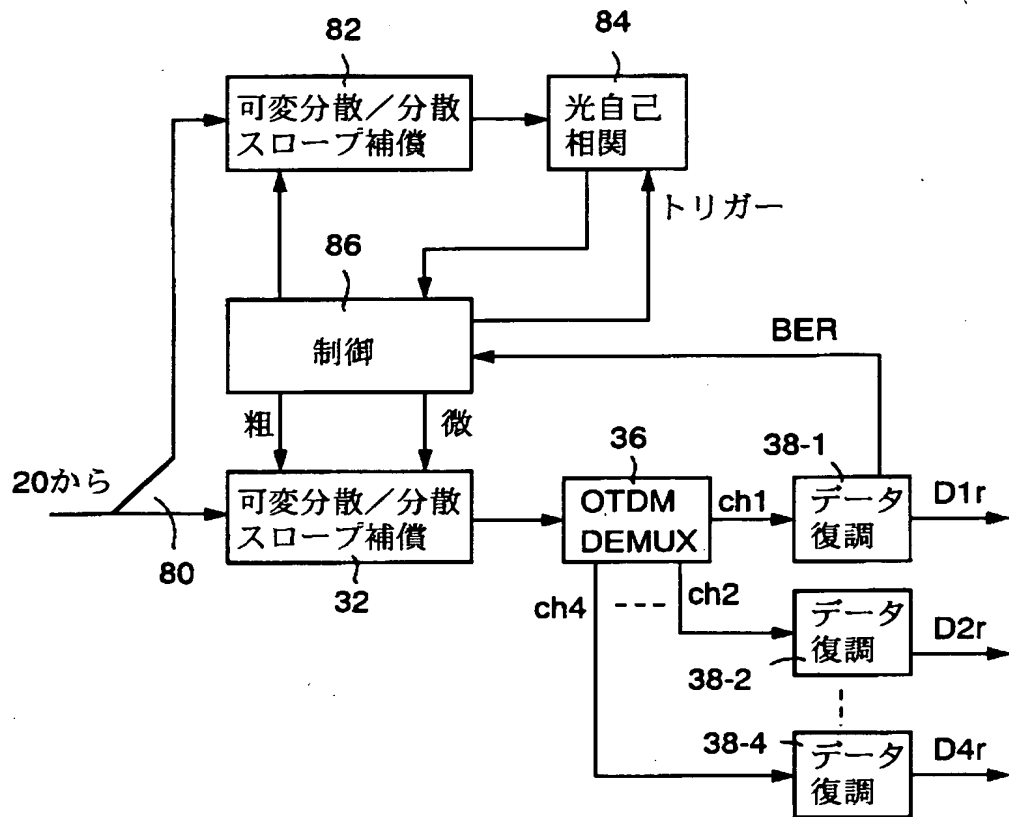
【図 5】



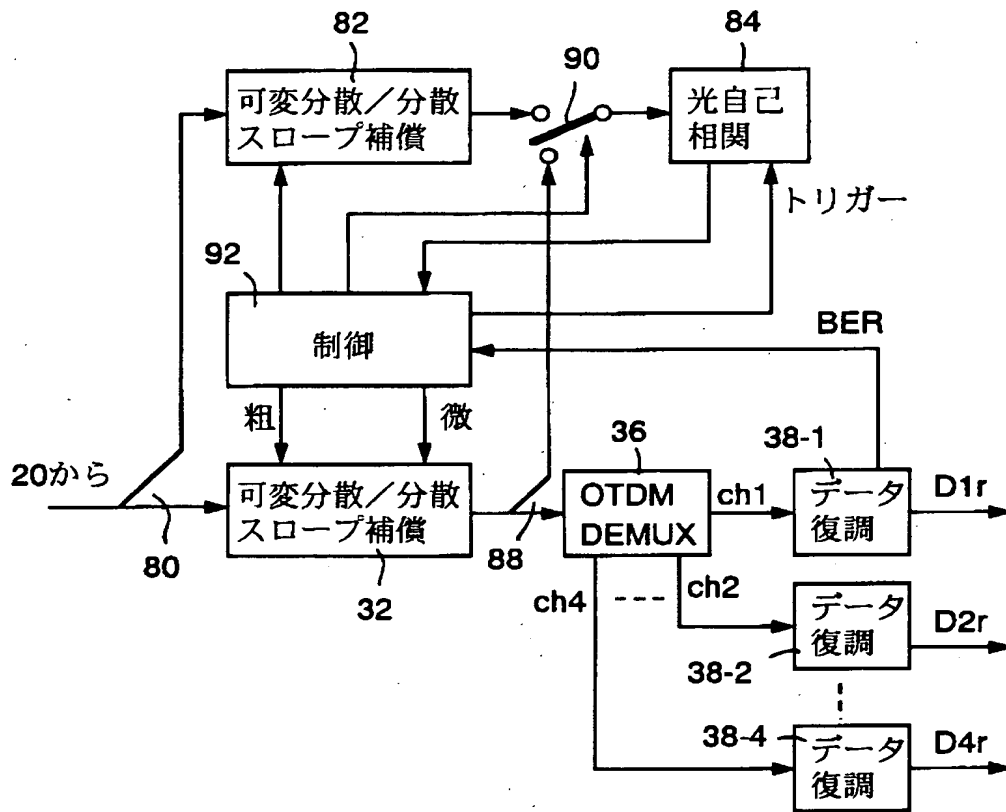
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 超高速伝送の場合の累積波長分散及び分散スロープの補償を自動制御する。

【解決手段】 光伝送路 2 0 を伝搬した信号光は、可変分散／分散スロープ補償装置 3 2 を介して分波器 3 4 に入力し、2 分割される。同期型光分離装置 3 6 は、分波器 3 4 の出力光から 4 つのチャンネル c h 1 ～ c h 4 を分離し、それぞれをデータ復調装置 3 8 - 1 ～ 3 8 - 4 に供給する。データ復調装置 3 8 - 1 は、3 R 受信装置 4 0 と誤り訂正装置 4 2 からなり、c h 1 の受信信号光からデータ D 1 を復調してその誤りを訂正し、誤り率情報 B E R を制御装置 4 6 に供給する。制御装置 4 6 からのトリガーにより起動されて、光自己相関装置 4 4 は、分波器 3 4 からの信号光の自己相関を演算する。制御装置 4 6 は、自己相関が大きくなるように装置 3 2 の分散補償量を制御し、B E R が小さくなるように装置 3 2 の分散補償、又は分散補償量及び分散スロープを制御する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [301022471]

1. 変更年月日 2001年 4月 2日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都小金井市貫井北町4-2-1

氏 名 独立行政法人通信総合研究所